宇宙航空の最新情報マガジン
JAXA's
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
機関誌
［ジャクサス］
No.070
October 2017
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency
金井宣茂宇宙飛行士
成果の質を
求めて

宇宙航空の最新情報マガジン

CONTENTS

[ジャクサス] 国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構機関誌 No.070 October 2017

Cover Photo:「きぼう」日本実験棟では新薬開発のためのタンパク質結晶生成実験や超小型衛星の放出など具体的な成果が続々と上がっています。そして、これからはより質の高い成果、さらに高度な技術の獲得が問われる時期にきています。ISSでの長期ミッションに挑む金井宣茂宇宙飛行士の活躍にもますます期待が高まります。今後の「きぼう」利用の展望と金井宇宙飛行士の長期滞在ミッションについては今号P3-5、P6-7をご覧ください。

JAXA’s発行責任者の庄司義和です。
忙しかった夏があっという間に過ぎ去って、秋の星座が夜空を飾る季節になりました。この間も、JAXAはさまざまな挑戦を続けてきました。
9月12日開催のJAXAシンポジウムでも話題になったとおり、JAXAはますます外部の方々との連携を深めています。さまざまな方々のご意見をお聞きしつつ研究開発を行い、得られた成果をさまざまな方々にお使いいただく…世界とのつながりの中で挑戦を続けているJAXAの姿をご覧いただければと思います。
JAXA'sは今号も盛り沢山です。お楽しみください。

発行責任者
JAXA
(国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構)
広報部長　庄司 義和

JAXA's編集委員会
委員長　庄司 義和
委員　青山 剛史
寺門 和夫
山根 一眞
山村 一誠
アドバイザー　的川 泰宣

編集制作
株式会社ビー・シー・シー
2017年10月1日発行

若田(わかた) 光一(こういち)
有人宇宙技術部門
ISSプログラムマネージャ
宇宙飛行士

国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」日本実験棟では、タンパク質結晶生成実験をはじめとする各種実験やエアロックとロボットアームを使った超小型衛星放出など、着実に成果があがっています。収穫期に入った「きぼう」利用のこれからの展望と、さらにその先へ向かう日本の有人宇宙活動について、若田ISSプログラムマネージャに聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

4つのプラットフォームで「きぼう」利用の成果を加速

──「きぼう」日本実験棟の利用は新しいフェーズに入っていますね。

若田　「きぼう」の軌道上組立が完成したのは2009年です。「きぼう」は非常に複雑なシステムですから、当初チェックアウトなどに時間を費やしましたが、順調に運用を重ね、今「きぼう」は利用成果の収穫期に至っています。私たちは、有限である「きぼう」運用期間中に効率的に成果を創出していくための「きぼう利用戦略」を策定し、国の科学技術施策の実現や民間企業の研究開発などに貢献するため、利用ニーズの

地球低軌道利用の未来のために、
今が重要な熟成の期間

「きぼう」利用の現在、そしてその先へ

©JAXA

ある4つの取り組みを見える化の対象として「きぼう」利用の柱として位置づけ、その領域の研究を支える研究開発基盤を「プラットフォーム」と定義しました。これらは「新薬設計支援」、「加齢研究支援」、「超小型衛星放出」、および「船外ポート利用」の4つのプラットフォームです。

新薬開発のためのタンパク質結晶生成実験は、米国ではスペースシャトルの時代には数多く取り組んできましたが、その後は停滞気味です。しかし日本は「きぼう」を利用して着実に実験を重ね、世界をリードする状況に至っています。加齢研究に関しては2016年8月に、小動物飼育装置でμG環境と無重力環境で35日間飼育したマウスを生存回収するミッションを世界に先駆けて行いました。そしてISSで唯一、エアロックとロボットアームの統合運用機能を有する「きぼう」ならではの能力を駆使した超小型衛星放出は日本のお家芸となっており、これまでに合計198機を放出しています。「きぼう」船外実験プラットフォームでも、高エネルギー宇宙現象や暗黒物質などの解明を目指す「高エネルギー電子・ガンマ線観測装置」(CALET)などの世界最先端の観測装置に加え、「きぼう」のロボットアームにより容易に実験サンプルや搭載装置類の交換が可能な簡易曝露実験装置(ExHAM)や中型曝露実験アダプター(i-SEEP)などは、世界に誇れる「きぼう」の持つ優れた宇宙環境利用のための設備といえます。

私たちはこうしたプラットフォームを利用者の多様なニーズに応えられる実験・研究の場として提供していこうと思っています。

実験モジュールの手本となる「きぼう」

──「きぼう」からの超小型衛星の放出は世界的に注目されています。アメリカのナノラック社も超小型衛星放出のためのエアロックをISSに設置する予定ですね。

若田　ロボットアームと連動して協調運用ができ、かつハッチなどの機構を地上からの遠隔操作で開閉できる「きぼう」のエアロックのようなシステムはなかなか作れません。ナノラック社のエアロックはシステム的にはもっとシンプルなものです。ロシアが2018年以降打ち上げ予定の多目的実験モジュールにも小さなエアロックが搭載される予定です。日本が進めてきた「きぼう」の設計は、今、各国のお手本になっているという感じがします。

──当初設計した時よりも「きぼう」の利用価値は高くなっていると。

若田　そうですね。非常に先見の明があったと思います。当時、それが予定された用途以外に将来どう使われるのか100%わかっていたわけではないのですが、いかにして将来の発展性にも対応できるかも考えて開発を進めた。他国の二番煎じではない独自性を追求したからこういう道が開けたのだと思います。私たちはこうした先人たちの偉業に学ばなくてはいけないと感じます。

──ISSは2024年までの運用が決まっています。2024年までの「きぼう」の利用、そしてそれ以降に関してどうお考えですか。

若田　ISSは少なくとも2024年まで運用され、その先に関しては、各国政府さらには民間企業によるISSやあるいは新たな拠点構築による地球低軌道利用の検討や準備が世界各国で着々と進められています。確実なのは、有人宇宙活動による地球低軌道利用は今後さらに拡大していくということです。ISS「きぼう」の運用期間中の地球低軌道における微小重力環境利用の官民共同事業化に向けて、「きぼう」を科学技術イノベーションを支える研究開発基盤として定着させることが喫緊の課題であると考えています。「きぼう」の持つ実験研究施設としての優れた能力を活用できる今、民間事業者がより主体的に地球低軌道を利用する時代のための熟成期間にあると思います。

信頼性の高い日本の独自技術で新たな貢献を

──「きぼう」での実験の成果はこれまで『JAXA's』でもたびたび紹介してきました。一方、各国が素晴らしいと評価してくれる「きぼう」という有人モジュールを開発した技術を、さらに発展させていくこともJAXAとしては大事ですね。

若田　私もそう思います。私は実際に「きぼう」の中で実験やシステム運用を行い、寝泊まりする機会もありましたが、「きぼう」は非常に静かで、明るい宇宙の仕事場です。長期間仕事や居住がしやすい快適な環境が実現されていると思います。「きぼう」の開発・運用経験を礎に、今、私たちが地球低軌道以遠の有人宇宙活動に向けて研究開発を進めている技術の一つが空気再生や水再生機能の環境制御・生命維持システム（ECLSS）です。こうした「再生型」のECLSSは現在「きぼう」には装備されていませんが、人類の活動が地球低軌道から月近傍、さらに火星への超長期滞在へと展開していく時に不可欠となる技術です。アメリカではすでにISSで実現済みの技術で、ロシアやヨーロッパも開発を進めており、将来の国際協力の下での宇宙探査で日本が主要な役割を果たしていくために非常に重要な技術と位置付けられます。私たちは現在、日本の独自性を生かした小型、軽量、省電力で、物資補給が要らない効率性の高い「再生型」ECLSSを構築しようと奮闘しているところです。

──宇宙ステーション補給機「こうのとり」（HTV）も海外の宇宙機関から大きな信頼を得ていますね。

若田　「こうのとり」は有人システムの安全要求を満足する必要がある宇宙輸送機ですから、開発当初、NASA側には経験のない日本は安全な宇宙機を開発できないのではないかという見方もありました。しかし、日本の「こうのとり」開発チームは想像を絶する数々の試練を乗り越え、他にはない優れた輸送能力を有する宇宙機を開発し、2009年の初号機から昨年の6号機に至るまで100％ミッションを成功させました。米露の補給船が相次いで打ち上げに失敗する事態が発生した時にも「こうのとり」だけが予定どおり輸送ミッションを遂行できたことで日本の宇宙技術に対する信頼度がまた一歩高まったといえます。「こうのとり」が先駆者として最初に開発した技術もあります。従来のドッキング方法ではなく、ISS下方から接近し、近距離で一旦静止させた後、カナダアーム2というISSのロボットアームで捕まえるという安全性の高い接近手法は、JAXAがカナダ宇宙庁やNASAと協力しながら実現したもので、その後スペースX社のドラゴン宇宙船とオービタルATK社のシグナス宇宙船にも採用されました。またPROXという「こうのとり」が近接運用で使う通信装置はシグナス宇宙船にも採用されています。日本で開発されたシステムがそのままアメリカの商業宇宙船に採用されており、信頼性の高い技術を日本は有人宇宙活動においても一歩一歩着実に築いてきています。

第44次/第45次ISS長期滞在ミッションにおいて、油井宇宙飛行士が行った「こうのとり」5号機のキャプチャ。筑波の「こうのとり」運用管制チームとNASA管制室の若田宇宙飛行士との「チームジャパン」体制でのミッション。

©JAXA/NASA

次世代HTVには新しい役割も期待

──次の世代のHTVにはどのような技術を盛り込みたいと考えていますか。

若田　ISSは少なくとも2024年まで運用が続きますが、運用期間中にISSへの物資補給を行うことは、ISS計画の中で日本に課せられた義務です。「こうのとり」は9号機まで現在の仕様のものを使います。次期HTVを私たちは今仮称で「HTV-X」と呼んでいますが、ISSへの物資輸送能力に加え、将来の有人宇宙活動を我が国がより主体的に展開していくために基盤となる技術も合わせて開発していくことを検討しています。平成33年度の技術実証機打ち上げに向けてHTV-Xの開発が本格化しますが、将来の発展性も考慮してHTV-Xにドッキング機構を追加することや、地球低軌道の拠点や将来の月近傍有人宇宙活動拠点に物資を補給したり、そうした拠点における環境制御生命維持（ECLSS）モジュールに発展させることを含めたさまざまな技術検討を進めています。

実験を終えたタンパク質のサンプルを取り出し、地上へ返す準備をする油井宇宙飛行士。

©JAXA/NASA

──物資補給以上のことを考えているわけですね。

若田　HTV-Xを人間が居住できるモジュールにしていくことも技術検討の視野に入れています。空気循環による環境制御や熱制御などのシステムはすでに「きぼう」で確立されています。人間が居住できるモジュールにするには、二酸化炭素除去やトイレなどを含むECLSS機能が不可欠であり、研究開発も加速させていかなくてはなりません。ECLSS技術研究は、現在私たちが特に注力して進めているところです。

宇宙長期滞在の豊富なノウハウを蓄積

──日本人宇宙飛行士の宇宙滞在累積日数は、ロシア、アメリカに続いて世界第3位です。ISS計画によって、日本は宇宙飛行士が宇宙空間で安全に暮らせるためのシステムやノウハウをたくさん手に入れたと思いますが、いかがですか。

若田　宇宙滞在ミッションを安全に運用していくことは一朝一夕でできるものではありません。筑波宇宙センターの運用管制チームが2008年の「きぼう」組み立て開始以来、重大なトラブルや緊急事態を起こすことなく安全・確実な「きぼう」運用を達成してきていること自体、有人宇宙活動を支えるための安全・信頼性管理技術や運用における危機管理能力を日本が高い水準で獲得している証しであるといえます。しかも、「きぼう」管制室に常時いる運用管制官は5人です。NASAに比べれば非常に限られた人員で効率的に管制を行っています。

──人間が宇宙で長期間健康に暮らすためのノウハウもたくさん蓄積されていると思います。

若田　微小重量の宇宙環境下では、骨がもろくなるとか、筋力が低下するという現象が地上に比べて加速的に起きます。それらに対処し、宇宙飛行士が長期に渡って宇宙で健康に過ごすための運動処方などの生理学的対策のノウハウが確立され、骨密度低下を防ぐための医学的な対策に関す

る実験研究においてもJAXAは着実に成果を達成してきました。こうした宇宙飛行士の健康管理技術は、健康長寿社会を実現するための研究にも大きく寄与できるものと思います。

挑戦し続けることで生まれる世界水準の技術

――ISS計画で日本が得た国際的な立場は、今後の国際宇宙探査においても大事な意味をもつと思いますが、いかがでしょう。

若田　そうですね。私はJAXAのISSプログラムマネージャとして、地球低軌道以遠の月や火星における国際宇宙探査に向け、各国のISSプログラムマネージャとの調整会議に3カ月に1回程度の頻度で出席しています。ISS計画の大きな成果というのは、技術的な成果はもちろんですけれども、科学技術分野での複雑な国際協力プロジェクトを国々がそれぞれの利害を追求しつつも、各国の間の強い協力の下で進めてきたという点にあります。ISSにおける国際協力枠組みを確立し、相互の信頼関係を構築したことにもISS計画の非常に大きな意義があります。だからこそ、将来他の新興国も参加することになるであろう地球低軌道以遠の有人宇宙活動の拠点構築に関しても、こうしたISSプロマネ会合でまず検討が行われているといえます。

注目すべきことは、ISSの次を考える時の参加国のコアとなるのは、やはりISS計画のパートナー各国だということです。日本はその一翼を担っているわけであり、これまで先人たちが苦労して獲得してきた技術や各国からの強い信頼を基に、将来の有人宇宙活動における国際協力で、我々はこれまで以上にリーダーシップを果たしていく好機であると感じています。

――その責任を全うするための技術は日本にあるでしょうか。

若田　JAXAや開発メーカー、システム運用を担当する企業には世界最高水準の総合的な有人宇宙技術があると思います。大切なのは新しいモノづくりに挑戦していくことだと思います。新しいミッションや、システム開発や運用において新しい工夫に挑戦していかなければ技術力を高めることは難しい。HTV-XにしてもECLSSや月面着陸技術などにしても、新しいことに挑戦し続けていく必要があります。

このような技術開発では世界各国がしのぎを削っています。すでにアメリカやロシアなどはその多くを確立していて、次の計画でも主導権を握りたいと考えている。そこに日本が食いこんでいける水準の技術を早期に開発しなければなりません。初めて月面に国際クルーが立つ時に、その中に日本人がいるかどうかにもかかわってくるような重要な課題です。熾烈な技術競争ではありますが、逆にやりがいのある分野だと考えています。

©JAXA/NASA

©JAXA/NASA

▲第39次長期滞在クルー。前列中央が船長を務めた若田宇宙飛行士。

◀「きぼう」のエアロックから超小型衛星の放出準備をする大西宇宙飛行士。

日本がより主体的な役割を果たせるように

――今度の金井宣茂宇宙飛行士の長期滞在ミッションにはどのような期待をもっていますか。

若田　金井さんは外科医師や潜水医官の経験を有する宇宙飛行士ですので、向井さん、古川さんに続いて、専門性を生かして医学の分野でISS長期滞在中にさまざまな利用成果を出してくれると思います。同僚の宇宙飛行士からの信望も厚く、もちろん、医学分野以外の数多くのミッションでも良い仕事をしてくれることを確信しています。これまでの地上での仕事や訓練を見ていると、自分の特性を生かした結果をきちんと出してくれる人だという印象を持っています。それと金井さんにはぜひ船外活動をやってもらいたいですね。訓練と準備は万全ですから、船外活動機会獲得のため、私もNASA側との調整などで支援をしていきたいと思います。

――ISSのプロマネとしての抱負を簡単にまとめていただけますか。

若田　有人宇宙活動の意義、価値についてきちんと説明責任を果たしながら、常にISS運用を安全・確実に進め、「きぼう」利用成果を最大化させるための工夫、そしてISS利用の新たな価値を生み出すための挑戦課題にも取り組んでいきたいと思っています。そしてISSの先の国際協力の下での有人宇宙活動において、日本がより主体的な役割を果たせるよう、「きぼう」や「こうのとり」を通して培った有人宇宙技術を生かし、世界におけるベンチマーキングをしっかり行い、日本が優位性を持つべき新たな技術の研究開発も加速させていきたいと思います。宇宙飛行士運用においては、12月からの金井宇宙飛行士のISS長期滞在を成功させることと共に、日本から第二、第三のISS船長が誕生できるように支援したいと思います。今ISSに滞在しているパオロ・ネスポリ宇宙飛行士は60歳です。米露でも同様の年齢での飛行は多く、現在私はISSプロマネを担当させて戴いていますが、次のISS長期滞在に向けた宇宙飛行士資質維持向上訓練も非常に限られた時間の中で継続しており、長寿国日本の宇宙飛行士として、また、ISSプロマネ経験のある世界初の宇宙飛行士としてISS長期滞在に挑戦したいと思っています。体力維持のための有酸素運動や負荷抵抗筋力訓練も毎朝出勤前に欠かさず行っており、生涯現役で頑張っていきます。

金井宣茂宇宙飛行士インタビュー

成果の質にこだわり、わかりやすく社会に伝える。それが課題。

油井亀美也、大西卓哉両宇宙飛行士に続く JAXA3人目の新世代宇宙飛行士である 金井宣茂宇宙飛行士が、第54次/第55次長期滞在クルーとして 6カ月にわたるISSでのミッションに挑むことになります。 金井宇宙飛行士に現在の心境と ミッションに向けての抱負を聞きました。

取材・文:寺門 和夫(科学ジャーナリスト)

©JAXA

チャンスがあれば船外活動にも挑戦。

──いよいよISS長期滞在が近づいてきました。JAXAの宇宙飛行士候補者として選ばれてからそれなりの時間がたちましたが、今のお気持ちはいかがですか。

金井　準備期間が長かったので、あらゆる訓練を二通りも三通りもやらせてもらえました。長期滞在ミッションに向けて何の不安もなく準備ができたと思います。

──一緒に長期滞在するクルーを紹介してください。

金井　アントン・シュカプレロフさんとスコット・ティングルさんです。シュカプレロフさんはロシアの宇宙飛行士でソユーズ宇宙船のコマンダーです。今度が3回目のISS長期滞在となるベテランです。ティングルさんはNASAの宇宙飛行士で、海軍のパイロット出身です。私と彼はNASAの宇宙飛行士訓練コースの同期生で、ずっと一緒に仕事をしてきました。二人とも非常に信頼のおける仲間です。

──これまでの訓練で印象に残ったことをお聞きします。ロシアではどんな訓練をしましたか。

金井　ロシアの訓練は主にソユーズ宇宙船の操縦訓練でした。私は右側の席に座るので、ソユーズ宇宙船の操縦には直接は関わらず、船長と左側の席に座る宇宙飛行士が協調して仕事をしている時に、その2人をバックアップするのが私の仕事になります。野球のスコアラーが選手の記録を取るようにチェックしていて、必要に応じてサポートに入ります。秒単位でたくさんのことが起こるので、タイミングが勝負です。テンポ良くやらないといけませんが、こういうところは宇宙飛行士の仕事のだいご味だと思います。

──ヒューストンでの訓練では大型のプールを使った船外活動の訓練もしましたね。

金井　船外活動用の宇宙服を着て作業するのは大変ですけれども、実際に体験してみると、とても楽しいですね。日本人宇宙飛行士はこれまで船外活動をしたことがあまりなく、土井隆雄元宇宙飛行士が初めて行い、その後野口聡一宇宙飛行士と星出彰彦宇宙飛行士しか経験がありません。もしも私にチャンスがあれば、ぜひやってみたいと考えています。

宇宙実験をリードするJAXAの生命科学分野。

──医師としてのバックグラウンドを今回の長期滞在で生かしたいという気持ちはありますか。

金井　宇宙医学を勉強されている研究者は世界中にたくさんおられますが、その中で無重量環境を経験できる人はほんの一握りです。そういう点で非常に貴重な体験をさせていただけるという期待感をもっていますし、自分の体がどういうふうに変わるのか、非常に興味があります。地上の皆さんにも、こういう理由でこういうふうに体が変化しているということをお伝えできれば、宇宙に対してさらに興味を持っていただけるのではないかと思います。そんなことを常に考えながらミッションに臨みます。

──ISSではいろいろな科学実験を行うことになりますね。

金井　そうですね。ISS本来の目的である科学実験で良い成果を出すために、自分の

筑波宇宙センターでのタンパク質結晶生成実験の訓練。

ガガーリン宇宙飛行士訓練センターにおいて、遠心加速器を使いソユーズ宇宙船帰還時の加速度を体験する訓練。

ロシアで行われた水上サバイバル訓練。帰還時、水上に着水した場合を想定して行われている。

NASAジョンソン宇宙センター無重量環境訓練施設において、船外活動訓練のため水中訓練用の宇宙服を着用する金井宇宙飛行士。

これまでの訓練経験を生かしたいと思っています。

──「きぼう」での実験で特に興味を持った実験はありますか。

金井　一つはJAXAが昔から実施している高品質タンパク質結晶生成実験です。創薬や工業用の触媒の研究など、これからのビジネスにも利用できる分野だと思います。あとはマウスの実験ですね。「きぼう」にはJAXAが開発した小動物飼育装置があります。0Gだけでなく1Gの環境もつくることができることが大きな特長で、それぞれの環境で飼育したマウスを地上に持ち帰って比較することができます。もうすぐ2回目の実験が始まります。3回目の実験で自分が携わることになれば、とてもうれしいですね。生命科学分野の宇宙実験をリードするような非常に意義の高い実験ができるのではないかと期待しています。タンパク質結晶生成実験や小動物飼育装置での実験など、他の国より一歩進んでいる実験で大きな結果を出すことは、日本だけでなく、ISS計画全体にも大きな貢献を果たすことになると思います。

実験に関わる人たちの情熱を知ることも重要。

──タンパク質結晶生成実験に関しては、先日筑波宇宙センターで訓練をしましたね。

金井　私たち宇宙飛行士が宇宙で実験を行う際、PI（代表研究者）の先生方やJAXAのスタッフがどういう考えをもって実験を計画しているのかを知ることは非常に大事だと思っています。皆様の情熱や実験にかける思いを知ることができれば自分の気持ちも乗ってきますし、マニュアルに書かれていることの行間を知ることができるので、実験のクオリティを高めることもできます。

──他には興味を持っている実験はありますか。

金井　「きぼう」でやっている実験はどれも面白いですけれども、今度はじまった「沸騰・二相流体ループを用いた気液界面形成と熱伝達特性（Two-Phase Flow: TPF）」はとても興味があります。水を沸騰させ、水の中に気泡ができた時に温度がどういうふうに伝わるかを調べる実験です。あとは「ランダム分散液滴群の燃え広がりと群燃焼発現メカニズムの解明（GCEM）」ですね。油井亀美也宇宙飛行士が装置を設置して、大西卓哉宇宙飛行士が初期検証を行いました。1個の液滴に火がついて、それが隣の液滴に燃え広がっていくところをハイスピードカメラで撮影した映像には目を奪われます。

──「きぼう」には静電浮遊炉という最新鋭の炉もあります。

金井　ようやく実験が始まりつつありますので楽しみです。油井宇宙飛行士が長期滞在中にISSに届けられ、大西宇宙飛行士が初期検証を行いましたので、私の時にそれが定常運用に入れれば、油井、大西、金井という「たすきリレー」の一つになるのではないかと思います。

──自分自身が被験者になる実験はありますか。

金井　例えば体内時計を調べる実験があります。それから乳酸菌を飲んで腸内菌叢の変化を調べる実験も行います。これは非常に日本らしい実験です。東洋には昔から「医食同源」といって食を通して健康を守る考え方があります。将来の宇宙探査において、今よりも長期にわたって宇宙飛行士がミッションをこなす場合に、食べ物を通して宇宙飛行士の健康を守ることは大事になると思います。また、飛行前と飛行後の筋肉の変化を調べるヨーロッパの実験にも参加しています。ISS計画では宇宙飛行士から得られたデータをお互いに使えるようにするという話が進んでおり、NASAやヨーロッパの実験に参加することは、日本の研究者にもベネフィットがあると思います。

──長期滞在の目標を考えていますか。

金井　まずは与えられた仕事を全て実行しなければいけません。宇宙実験はマニュアル通りにやれば結果は出ますが、いかに質の良い結果を出すかが大事だと思っています。そうしたタスクを果たした上で、ツイッターなどで情報発信をしていきたいと思います。宇宙実験の内容とか、ISS計画の成果をいかに広く分かりやすくお伝えすることができるかが、自分に与えた目標です。

金井 宣茂（かない　のりしげ）
宇宙飛行士

1976年東京生まれ。防衛医科大学校医学科卒業。外科医師・潜水医官として自衛隊に勤務後、JAXAの日本人宇宙飛行士候補者として選抜される。2011年油井亀美也、大西卓哉とともにISS搭乗宇宙飛行士として認定。2015年8月ISS第54次/第55次長期滞在クルーのフライトエンジニアに任命される。

いよいよ打ち上げ迫る
イプシロン3号機

2013年に1号機、2016年に2号機の打ち上げに成功した固体燃料ロケット「イプシロン」。いよいよ3号機の打ち上げが迫っています。今回は、3号機に搭載される新たな技術、そしてイプシロンのこれからを紹介します。

取材・文:水野 寛之

◀強化型イプシロンロケットのCG。3号機はPBS搭載のオプション形態となる。

©JAXA

▼2016年12月20日。内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられた、ジオスペース探査衛星(ERG)を搭載したイプシロンロケット2号機。

©JAXA

日本の基幹ロケット「イプシロン」

糸川博士がペンシルロケットの発射に成功して以来、日本の固体ロケット技術は着々と進歩してきました。その伝統を受け継ぎ、打ち上げシステム全体の改革に挑む新世代の固体ロケットが「イプシロン」です。イプシロンロケットは安全保障、地球観測、宇宙科学・探査などのさまざまな人工衛星の打ち上げニーズに対応する日本の基幹ロケットとして開発が進められています。今年度に打ち上げが予定されている3号機について、プロジェクトメンバーに話を聞きました。

「イプシロンは高性能・コンパクトなロケットシステムで、運用性と衛星搭載環境をさらに向上させることで世界トップレベルを目指しています。JAXAは試験機打ち上げ成功後『強化型イプシロンロケット』を開発してきました。試験機から主に2段モータを改良して打ち上げ能力の向上と衛星搭載スペースの拡大を図り、2号機で強化型(基本形態)の飛行実証をしました。今回の3号機では小型液体推進系(PBS)を搭載したオプション形態での飛行実証を行い、イプシロンロケットとして初めて搭載衛星を太陽同期準回帰軌道に投入します。これにより、今後打ち上げ需要の拡大が見込まれる地球観測の分野で利用拡大を進めていきます。また、新たに開発した低衝撃型衛星分離機構の実証も行います」と井元隆行プロジェクトマネージャ(以下、井元PM)は語ります。

井元 隆行(いもと たかゆき)
第一宇宙技術部門
イプシロンロケット プロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

©JAXA

3号機に搭載される新たな機能とは

今後、小型衛星の打ち上げ需要の拡大及び衛星の多様化が見込まれる中、世界で通用するロケットにするためには、運用面に加えて衛星搭載環境の改善が必要と考えられます。

その技術実証の一つが、3号機で新たに搭載する低衝撃型衛星分離機構です。これまで衛星を分離する際には、固定しているバンドのボルトを爆薬で瞬時に切断する方法が取られてきましたが、マイクロ秒単位の非常に短い時間にエネルギーが解放されるため、非常に大きな衝撃が発生します。低衝撃型衛星分離機構は、「爆薬を使わず、機械的にバンドの結合を外すことで、分離時間が比較的長いミリ単位レベルになります。ゆっくりとエネルギーを解放するため、衝撃を小さく抑えられます」と構造機構系を担当する伊海田皓史研究開発員は話します。電子部品には衝撃に弱いものも多く、大きな衝撃が発生する環境では衛星の設計にも大きな制約が生まれます。特にイプシロンロケットでは比較的小型の衛星を打ち上げることが想定されるため、衝撃を低減することは衛星環境を緩和する観点、すなわちロケットの乗り心地を改善するという点で非常に重要なポイントとなります。

もう一つ、3号機ではPBS(Post-Boost-Stage)の実証も行います。開発を担当する原利顕主任研究開発員は、「PBSとは第3段モータの上に搭載される、小型の液体推進システムです。固体ロケットでは難しい精度の高い軌道投入もPBSを付与することで繊細な制御が可能になります」と言います。3号機で打ち上げる衛星「ASNARO-2」では、このPBSが重要な役割を果たすのです。

「PBSは、H-IIAにも使われている技術を最大限活用しているので、高い信頼性を持っています。実は試験機にも同様の機能が搭載されていましたが、3号機のPBSは試験機の時よりもシンプルなシステムにすることで信頼性を向上させています」(原主任研究開発員)。

イプシロンロケットでは、初めてJAXA外の衛星を搭載

3号機では、イプシロンとして初めてJAXA外の衛星を搭載します。3号機の打ち上げを成功させることは、今後の受託打ち上げにつながる重要なプロセスです。「顧客のご要望に的確に対応し、打ち上げまでの作業をスムーズに進めるため、今回、衛星との調整を担当するペイロードインターフェース(PI)班を新設しました」(井元PM)。PI班の業務は、衛星をイプシロンに搭載する技術的な検討や調整だけでなく、衛星関係者が内之浦の射場で快適に作業できるよう環境整備や物品調達、関係部署との調整など、顧客サービスに該当する部分も担当しています。PI班長を務める中谷幸司主任研究開発員は、「今までと異なる点として、これまで打ち上げてきたJAXAの科学衛星は内之浦の衛星用設備の使用を前提として設計がなされています。しかし今回搭載する『ASNARO-2』はこれらの設備は使用せず、衛星製造メーカが自前の装置を内之浦に持ち込みます。そのため、持ち込みを容易にするための準備や射場回線の組み換えなどを実施しました。また、これまでは衛星プロジェクトがJAXAの関連部署と直接調整していましたが、今回はPI班が一括窓口となって調整を進めています。作業が増え大変なことも多いですが、関係するスタッフ全員が、『お客様の衛星を打ち上げる』という意識を強く持っています。『ASNARO-2』の製造メーカに『次もぜひイプシロンを使いたい』と言われるよう頑張りたい」と話します。

来年度打ち上げを予定している4号機では複数衛星搭載システムの実証を予定しています。また2020年度の打ち上げを目指して開発中のH3ロケットと技術を共通化し、お互いに高めていくような相乗効果(シナジー)を発揮する研究開発を進めています。

ASNARO-2

ASNAROは経済産業省による支援の下、NECが主体的に取り組む国際競争力を持った高性能小型衛星システムの研究開発プログラム。イプシロン3号機で打ち上げが予定されているASNARO-2は、光学衛星であるASNARO-1に続く、高分解能なXバンドの合成開口レーダー(SAR)の小型化・低コスト化を実現するレーダー衛星の研究開発プロジェクト。光学衛星では難しい夜間・悪天候の状況下でも観測できることが強みで、同じ質量の衛星の中では世界最高クラスの空間分解能を実現する。ASNARO-1とASNARO-2を組み合わせることにより、利便性の高い効果的な観測が可能になる他、光学・レーダー(SAR)両方のシステム実証が完了するため、今後海外市場に展開することも可能となる。

撮影/JAXA

機体公開時の高性能小型レーダー衛星「ASNARO-2」

©JAXA

原 利顕(はら としあき)
第一宇宙技術部門
イプシロンロケット
プロジェクトチーム
主任研究開発員

©JAXA

中谷 幸司(なかや こうじ)
第一宇宙技術部門
イプシロンロケット
プロジェクトチーム
主任研究開発員

©JAXA

伊海田 皓史(いかいだ ひろし)
第一宇宙技術部門
イプシロンロケット
プロジェクトチーム
研究開発員

地球と似た磁場を持つ惑星の謎に迫る日本の技術

水星探査計画 BepiColombo 探査機公開!

**多くの謎を秘めた水星に挑むBepiColombo計画
日欧共同のプロジェクトでJAXAが果たす役割について
プロジェクトマネージャの早川基教授に聞きました。**

取材・文:井上 晋

現在、JAXAと欧州宇宙機関(ESA)の共同による水星探査プロジェクト「BepiColombo計画」が進められています。2018年10月には、「水星磁気圏探査機(MMO)」と「水星表面探査機(MPO)」を搭載したアリアン5ロケットが、南アメリカの仏領ギアナ宇宙センターから打ち上げられる予定です。

太陽系の惑星の中でもまだ謎の多い水星。探査の意義は、どこにあるのでしょうか。

「1973年に打ち上げられたアメリカのマリナー10号が、人類で初めて水星を探査しました。この時、地球に似た磁場があるらしいということが確認されたのです。以来、惑星の成り立ちや太陽風(プラズマ)が惑星の環境に与える影響について研究する上で、水星の重要性がクローズアップされるようになりました」

当時の技術では、探査機による周回軌道からの観測は難しく、マリナー10号の水星探査は、フライバイによって水星に最接近した時に行われました。水星探査の計画が再燃したのは、探査機を周回軌道に投入する技術的な見通しが立ち始めた1990年代半ばのことでした。

「その頃、宇宙科学研究所でも、水星探査の検討を始めていました。今回の計画でJAXAが担当しているMMOと、ヨーロッパで検討されていたBepiColombo計画の、2機の衛星の内の一つが目的としているサイエンスが同種の物であったこともあり、よく似ていたことから『ESA−ISAS会議』で一緒にやらないかと声がかかったのです。1999年のことでした。その後ヨーロッパではESAのコーナーストーンミッションへの応募・採択、国内では理学委員会へのミッション提案・採択を経てプロジェクトがスタートしました。MMOは、水星の磁場と水星周辺のプラズマ環境の観測を行います。これは『あけぼの』や『GEOTAIL(ジオテイル)』など磁気圏観測衛星での観測研究を通じて日本がノウハウを蓄え、世界からも得意分野として認知されている領域です」

地球から水星の周回軌道に探査機を送ることには、依然として数々の困難が伴います。中でも速度制御と熱対策は大きな課題です。

「打ち上げ後、地球の内側に向かうには地球の軌道速度(約秒速30km)から減速させなければなりません。金星や火星の場合、秒速30kmから5〜6km変化させれば周回軌道に入れられるのですが、水星では18kmくらい減速させなければなりません。その際、化学エンジンを用いると多量の燃料が必要になります。そのため、化学エンジンに比べて推力は劣りますが効率のよい電気推進と、地球で1回、金星で2回、水星で6回、惑星の重力を利用したフライバイを使って、遠回りをして水星に向かいます。探査機が水星の軌道に乗るのは、2025年の末頃になる予定です。

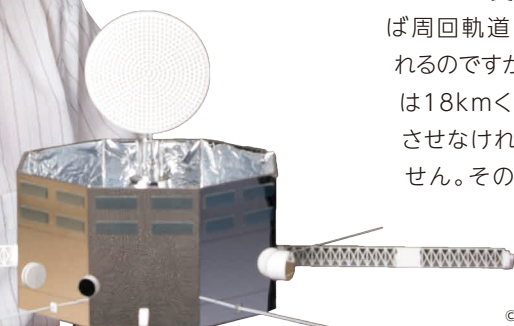
また水星の周回軌道上で、探査機が受け取る太陽からの光のエネルギーは最大で地球周辺での10倍強あるほか、水星表面(最高で430℃に達する)からの熱と、水星からの太陽の反射光に晒されます。MMOの周囲には鏡が貼られていますが、これは太陽光を反射して、中に熱が入らないようにするためです。鏡の温度は最高で160℃くらいにまで達するため鏡を張り付けているパネルと内側の機器の間には断熱材が入っています」

当初、2010年に予定されていたBepiColombo計画の打ち上げは、技術上の課題解決に時間がかかったこともあり、かなり遅れることになりました。しかし、この遅れは思わぬメリットをもたらしました。

「BepiColombo計画に先駆けて、アメリカのメッセンジャーが2004年に打ち上げられ、2011年に水星の周回軌道に投入されました。このメッセンジャーから送られてきた観測データは、水星に関する疑問を増やす結果となったのです。メッセンジャーの観測によりBepiColomboのミッション価値はより高まりました。

今後、JAXAではMMOの搭載機器全てに問題がないかチェックを行い、また寿命の関係で交換が必要な多層断熱材の一部などを交換します。それが終わるのが2018年の1月半ばから末くらいです。その後MMO、MPO、電気推進モジュールMTMの三つを組み合わせて最終確認をして、射場に運ぶのが打ち上げのおよそ半年前になります。ようやく打ち上げまでのスケジュールが具体的に見えてきました」

8年後、二つの探査機が水星に到達し何をもたらしてくれるのか、2018年10月の打ち上げに期待が高まります。

早川 基(はやかわ はじめ)
宇宙科学研究所
太陽系科学研究系 教授
BepiColombo プロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

2017年7月6日にオランダにあるESAの試験場(ESTEC)にて公開された結合状態の探査機。先端部がMMO。2番目がMPO。一番下がMTM(電気推進モジュール)。

BepiColombo計画 名称の由来

BepiColombo(ベピ・コロンボ)計画は、イタリアの天体力学者Giuseppe Colombo(ジウゼッペ・コロンボ)博士にちなんで名付けられました。Bepiは、Beppe、Peppeなどとともに Giuseppeの数多くある愛称の一つです。コロンボ博士は、水星の自転と公転の長さが2対3に同期していることを数学的に示した他、アメリカの「マリナー10号」が水星を探査した際、金星をフライバイして水星に接近する軌道をNASAに提案したことで知られています。

地球環境の未来と新たな

2012年に打ち上げられた水循環変動観測衛星GCOM-W「しずく」に続く地球環境変動観測ミッションの気候変動観測衛星GCOM-C「しきさい」が今年度打ち上げられます。今回この「しきさい」と共にH-IIAロケットにはもう一つの衛星、超低高度衛星技術試験機SLATS「つばめ」も搭載され同時に打ち上げられます。この二つの衛星について杢野プロジェクトマネージャと佐々木プロジェクトマネージャにそれぞれお話を聞きました。

取材・文:笠原 次郎

将来の温暖化予測の精度を高める

気候変動観測衛星 GCOM-C「しきさい」

――地球環境変動観測ミッション「GCOM」とはどういうものですか。

杢野　GCOMはGlobal Change Observation Missionの略で、2012年に打ち上げた水循環変動観測衛星GCOM-W「しずく」と今年度打ち上げるGCOM-C「しきさい」の二つの衛星によって地球規模の気候変動のメカニズムを解明するため、グローバルに長期間継続観測をするものです。

――JAXAではGOSAT「いぶき」など他にも地球環境を観測するプロジェクトが動いていますが、GCOMはそれらの中でどのような位置づけになるのでしょうか。

杢野　地球環境の変動や気候の変動といったものは、一つの衛星だけで全て観測できるわけではありません。JAXAの地球観測ミッションはGCOMとGOSATの三つの衛星と、国際協力で進めている全球降水観測計画のGPM主衛星のDPR(二周波降水レーダ)、欧州と協力して進めている衛星EarthCAREのCPR(雲プロファイリングレーダ)の二つのセンサによって行います。この中でGCOMは、気候変動や温暖化で変わりつつある水の循環や大気や植生などの地球環境変動の実態把握と、気候変動予測の誤差要因の長期観測を担っています。

――GCOM-Cの役割と目的について教えてください。

杢野　2015年のCOP21*で採択された「パリ協定」では産業革命以前からの気温の上昇を2度以内に抑えるという目標があるのですが、各国の気候変動予測モデルには2度程度のばらつきがあります。この精度を高めるために不確定な部分の多い、放射収支と炭素循環について調べることが重要です。GCOM-Cでは雲、エアロゾル(大気中のチリや微粒子)、海色、植生、雪氷などを観測することでこれらの誤差要因のメカニズムを解明し予測モデルの精度を高めることを目的としています。

――放射収支と炭素循環についてもう少し詳しく説明してください。

杢野　太陽光放射はその全てが地表面や大気に吸収されて温暖化につながるわけではありません。雲やエアロゾル、雪や氷などは、太陽光放射を反射するので冷却効果があります。この太陽光放射の吸収と反射が放射収支です。炭素循環は、人為起源などで放出される二酸化炭素の一部が海や陸の植生などで吸収され、やがてそれが分解されたりして大気に戻るといった炭素がめぐる一連の過程のことです。

――今回搭載される観測装置SGLIについて教えてください。

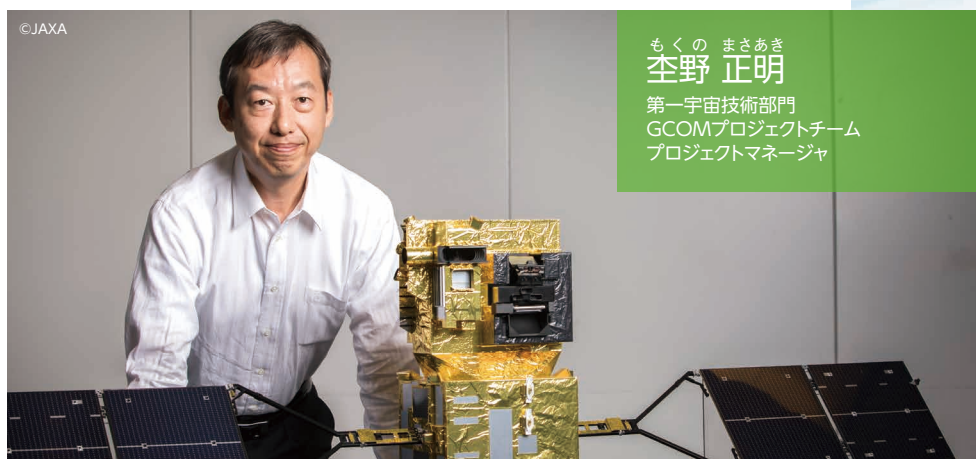
杢野　SGLIは多波長光学放射計というものです。IRSとVNRという二つの観測センサから構成されており、雲、エアロゾル、海色、植生、雪氷などをそれぞれ観測するために、幅広い波長帯の中から選んだ19チャンネルで計測を行います。また今回は偏光・近紫外観測と、多方向観測という新しく開発した技術を取り入れています。偏光・近紫外観測は、大気中のエアロゾルを観測する際に、地表からの反射の影響を除外してエアロゾルからの反射だけを計測するようにしたものです。多方向観測は、同じ場所を真上と斜めから観測する技術です。これにより真上からでは得られない高さ方向の情報も計測することができ、植生の立体的な特徴、全体の植物量が計測できるようになります。

――今回のプロジェクトで一番苦労されたところはどこでしょうか。

杢野　さきほどの偏光・近紫外観測と多方向観測技術の開発は苦労したところです。もう一つは雲やエアロゾルは変化のスピードが早いため、2日でほぼ全球の観測を行いたいという要求がありました。センサの分解能を上げると観測幅がどうしても狭くなります。2日で全球を観測するには大体1回で1,000km以上の観測幅が必要になってきます。観測幅を広くすると分解能を上げることが難しいのですが、人間活動による環境への影響を詳しく観察できるようにするため、結果的に250mの分解能にしたのですが、この分解能を実現するための開発も苦労したところです。ただ、苦労はしましたが、これらの機能を持つことができたことはGCOM-Cだけの他にはないユニークな機能だと自負しています。

――GCOM-Cの観測データの科学利用以外の活用法はあるでしょうか。

杢野　従来のセンサよりも詳細な海面水温や植物プランクトンの分布がわかります。これにより漁場の場所を正確に漁船に伝えられ効率の良い操業が可能になると思います。また、赤潮や黄砂といった我々の生活に密接な関係がある情報もスピーディに提供できるようになるかと思います。

*COP21: 2015年11月30日からフランスのパリで行われた「気候変動枠組条約第21回締約国会議」の略称。この会議で2020年以降の温暖化対策の国際枠組み「パリ協定」が正式に採択された

杢野(もくの) 正明(まさあき)
第一宇宙技術部門
GCOMプロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

宇宙軌道利用の扉を開く

高精度で低コストな地球観測の時代を開く

超低高度衛星技術試験機 SLATS「つばめ」

──SLATSとはどんな衛星なのでしょうか。

佐々木　SLATSは「超低高度衛星技術試験機」の略称です。われわれが超低高度と呼んでいるのは300km以下の軌道のことなのです。通常人工衛星が回っている600kmや800kmあたりの低軌道はほとんど真空ですが、ごくわずかな大気が存在しています。ところが高度300km以下の軌道になると、大気密度はその1000倍近くになります。そのため大気抵抗が非常に大きく、衛星が高度を維持していくためには推進システムの問題など大きな困難が伴います。SLATSはこの超低軌道での衛星運用を実現するための技術実証を行う衛星です。

──超低軌道を利用していくメリットはなんでしょうか。

佐々木　より地表面に近い軌道ですから、同じ能力の光学センサであれば今までより高分解能の画像が得られます。また、今までと同じ分解能でよければ、光学センサのサイズを小さくできます。そのため大型の光学センサを開発する必要がなくなり、搭載する人工衛星も当然小型になりますので、大幅に開発コストを削減することが可能になるわけです。合成開口レーダなどの場合にもこれと同様のことがいえます。つまり、超低軌道が利用できるようになれば、今よりも低コストでの宇宙利用が可能となり、民間の宇宙利用も促進されると思われます。

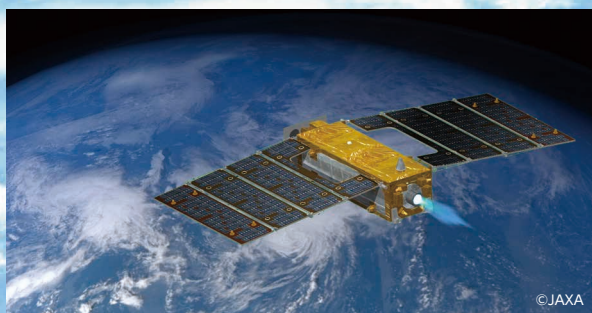
──では、超低軌道の課題はなんでしょうか。

佐々木　まずは最初にもお話した大気抵抗の問題。これについては、イオンエンジンという燃費性能の良い推進機を使うことで軌道を保持することにしています。しかしより問題なのは、180〜300kmあたりの大気の状態がまだ正確にわかっていないという点です。観測衛星というものは、観測したい場所を決まった時間に観測する必要があるわけですが、そのためには衛星自身がどういう軌道を飛行していて、何時何分にどこにいるのかを正確に把握できなくてはなりません。超低軌道では、日照や温度による大気密度の変化など解明できていない要素があり、現状では目標到達時間に最大で20秒ぐらいのズレが生じる可能性があります。今回収集するデータで解析モデルの精度を上げていく必要があります。また原子状酸素の問題もあります。酸素は地上ではO_2という酸素原子が二つくっついた分子の状態で存在していますが、200〜300kmあたりの高度になると酸素分子が紫外線などの影響で酸素原子1個の状態で存在します。これが原子状酸素です。これは物質と非常に反応しやすい性質を持っていて、衛星の周囲を覆っている熱制御用の金色のフィルム(ポリイミド)を劣化させる傾向があります。今回はフィルムの上に劣化を抑える特殊なコーティングをしています。原子状酸素の量を計測するセンサに加えて、材料劣化モニタによって13種類の材料サンプルの原子状酸素による劣化も観察します。

──超低軌道利用の未来についてお聞かせください。

佐々木　超低軌道では低コストでの宇宙利用が可能になると言いましたが、俯瞰的に言いますと、今までの静止軌道(35,786km)から低軌道(600〜800km)までの衛星の運用に加えて 200〜300kmの超低軌道が使えるようになることで、全体として宇宙利用の選択肢が増えるということが重要かと思っています。また、超低軌道の衛星は航空機と従来の衛星との間をつなぐ存在だと思います。地上から宇宙にかけての連続した観測網が構築されることで得られる新たな知見がより我々の生活に役立つようになると思います。

佐々木（ささき） 雅範（まさのり）
第一宇宙技術部門
SLATSプロジェクトチーム
プロジェクトマネージャ

打ち上げ後の気候変動観測衛星
GCOM-C「しきさい」のイメージCG

軌道上の超低高度衛星技術試験機
SLATS「つばめ」のCG

進化した温室効果ガスの宇宙監視役

「GOSAT-2」

CO_2やメタンなど
温室効果ガスの濃度を観測する衛星
「GOSAT-2」の打ち上げへ向けての
準備が佳境に入っている。
初号機、「いぶき」から
どのように進化したのだろうか。
ミッションマネージャの
中島正勝さんに聞いた。

取材・文:山根 一眞(ノンフィクション作家)

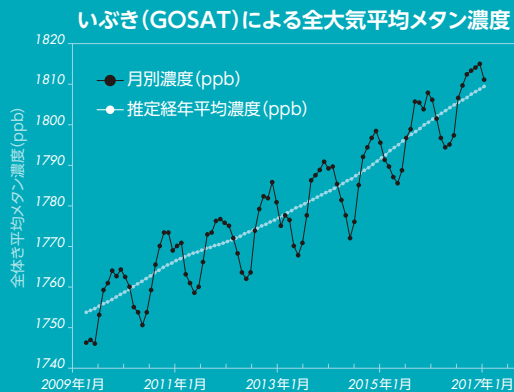
中島 正勝(なかじま まさかつ)
第一宇宙技術部門
GOSAT-2プロジェクトチーム
ミッションマネージャ

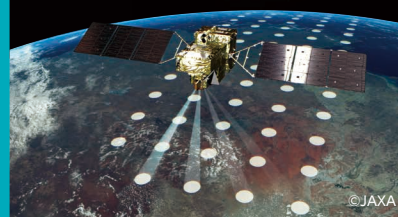
世界主要都市の CO_2排出量を得る!

──GOSAT-2の打ち上げは?

中島　2018年中にH-IIAロケットで。「いぶき」の運用がすでに8年を超えていますので、できるだけ早い時期を目指しています。

──地球温暖化と温室効果ガスについてはさまざまな意見や評価があるだけに、「いぶき」への期待は大でした。わくわくしながら種子島での打ち上げを見守ったことが忘れられません。「いぶき」の観測で「全大気の平均CO_2濃度が初めて400ppmを超えた」と発表されたのは2016年5月でしたね。

中島　400ppm突破のデータは、ハワイ島にあるNOAA(アメリカ海洋大気庁)のマウナロア山頂の観測所が2013年に発表するなどいくつかのデータが出ていました。

二酸化炭素に次いで重要な温室効果ガスであるメタン濃度が、2017年1月に過去最高の1,815ppbを記録。推定経年平均濃度も2017年2月に過去最高の1,809ppbを記録したことが「いぶき」の観測データから算出された。

軌道上でのGOSAT-2の観測イメージCG。

GOSAT-2。軌道上での外観CG。

©JAXA

しかし、いずれもスポット地点での濃度です。「いぶき」による「400ppm超」は全球観測データの集計ですので、2016年の「いぶき」の観測で確実に400ppmを超えたという認識を世界が共有できたんです。

――という「いぶき」の観測データ、今後の温暖化対策の指標となるIPCC(国連気候変動に関する政府間パネル)の報告書などに貢献しましたか?

中島　「第5次報告書」ではメタン濃度のデータのみ採用されましたが、現在作成中の「第6次評価報告書」には、「いぶき」が観測した二酸化炭素並びにメタン濃度の観測データが採用されることを期待しています。

――温室効果ガスの大量排出国と低排出国が排出権取引を進めるためにも、観測データは必須です。

中島　「いぶき」や「GOSAT-2(いぶき2号)」は、地球全体をメッシュにわけて、それぞれのポイントを精密に観測しますので、国別の排出量データを得ることは大きな狙いです。「GOSAT-2(いぶき2号)」では、おもな大都市の吸収排出量を1カ月単位で出すのが目標です。

1カ所の観測回数を減らした理由

――1カ所の観測が「いぶき」では1カ月平均10回だったのが、「GOSAT-2」は平均5回と少なくなったのはなぜ?

中島　「いぶき」も「GOSAT-2」も、太陽光が地表に反射し、大気中を通過してくる赤外線を観測。そのデータをスーパーコンピュータを使いフーリエ変換という方法でスペクトルに変換し、そのスペクトルを元に大気中の温室効果ガスの量を知る原理は同じです。日照域での1日あたりの観測数も約9000回でほぼ同じですが、「GOSAT-2」では観測ポイントの密度を高めることで「領域」としての観測精度を上げるため，軌道間隔を2分の1にし観測ポイントを2倍にしています。そのため1ポイントあたりの観測回数は1カ月で5回になったんです。

――それで足りますか?

中島　「いぶき」は10回とはいえ、観測ポイントに雲などがあればデータを得るのが難しかった。そこで「GOSAT-2」では、雲を避けて観測する仕組みを搭載しました。そのため、5回でもより確実に観測データが得られるようにしたんです。

――その仕組み、もう少し詳しく。

中島　「いぶき」も「GOSAT-2」も、観測のためミラーを動かしますが、「GOSAT-2」では観測終了から次のポイントの観測まで約0.65秒あります。その間にまず観測予定ポイントの画像を撮り「雲があるな」となると、雲のない領域を探しミラーを最大で2度ほど動かし雲がない場所を観測します。

――見事な仕掛け!

中島　こういう雲を避ける機構を搭載した衛星は世界初です。「いぶき」はセンサーの開口部が63mm、「GOSAT-2」は74mmと大きくして観測性能も向上しています。

「いぶき」の「冗長系」の設計を継承

――「いぶき」はトラブルが起こっても最後まで生き続ける「冗長系」の設計思想が盛り込まれていました。

中島　それが役立ったんです。設計寿命を超えた2014年、太陽電池パドルの一方の回転機構に故障が発生。設計段階では、片翼のみになった場合は熱赤外域の観測を止めるなど運用を軽減させる計画でした。しかし、発生電力の低下が予想より低く片翼だけで全運用を継続しています。「GOSAT-2」はこういう経験を活かし、発電量を両翼で3.8kwから5kwにアップし、片翼だけで全運用できるよう設計段階から考慮してあります。

――「いぶき」のような温室効果ガスの観測では、蓄積されたデータから有意なデータをスーパーコンピュータの解析で得るためのアルゴリズム(問題解決の手順)が大きな課題ですが?

中島　それはJAXAとしてもチャレンジングな分野です。世界でも専門家が少ないので、若い研究者の育成にも力を入れていきたいと思っています。

――中島さんに初めてお目にかかったのは2009年です。「GOSAT人生」、長いですね。

中島　2007年から始めてすでに10年ですが、さらにずっとやっていきたいな、と。

――人類の未来がかかっている仕事ですからね。ご健闘をお祈りしています。

GOSAT-2

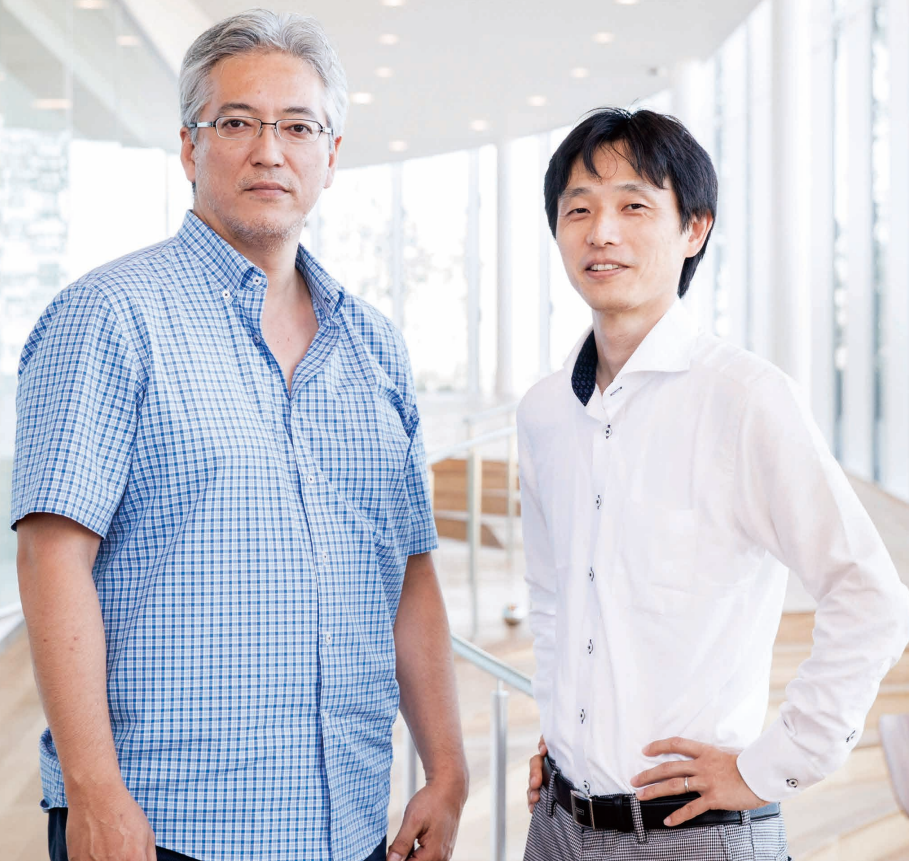
宇宙の実験室でタンパク質の結晶をつくる

"JAXA×ペプチドリ

目指す創薬への夢

宇宙を
職場にする

創薬に用いる特殊なペプチドを、独自の技術で作り出すペプチドリーム株式会社。これまで以上に迅速かつ効果的な薬づくりを目指す同社では、JAXAとの契約によるISS「きぼう」日本実験棟での高品質タンパク質結晶生成実験で成果を収めた。そして6月には、より強力なパートナーシップ契約を締結。画期的な新薬開発に向けて、期待が高まる。

取材・文:井上 晋

ペプチドリーム株式会社
舛屋（ますや） 圭一（けいいち）さん
取締役研究開発部長・理学博士

松本（まつもと） 邦裕（くにひろ）
有人宇宙技術部門 きぼう利用センター
技術領域主幹

宇宙での実験で期待される創薬への貢献

JAXAでは、2009年からISS「きぼう」日本実験棟で、高品質タンパク質結晶生成実験を実施しています。この実験は、国内の大学・公的研究機関(基礎研究利用コース)と、民間企業もしくは企業と連携のある大学・公的研究機関(民間利用促進コース)からタンパク質を公募して行われています。

2015年9月、第2期シリーズ 民間利用促進コース(トライアルユース)に応募したペプチドリームは、地上でのタンパク質の結晶化の成功を経て、JAXAと有償利用契約を締結。その後、2017年2月から3月にかけてISSでの宇宙実験を行いました。その結果、ペプチドリームが作製した特殊環状ペプチドと標的タンパク質(HER2)が結合した高品質の結晶が得られました。地上では得られなかったこの高品質の結晶をX線構造解析することにより、高い分解能での結合様式の解明に成功しました。

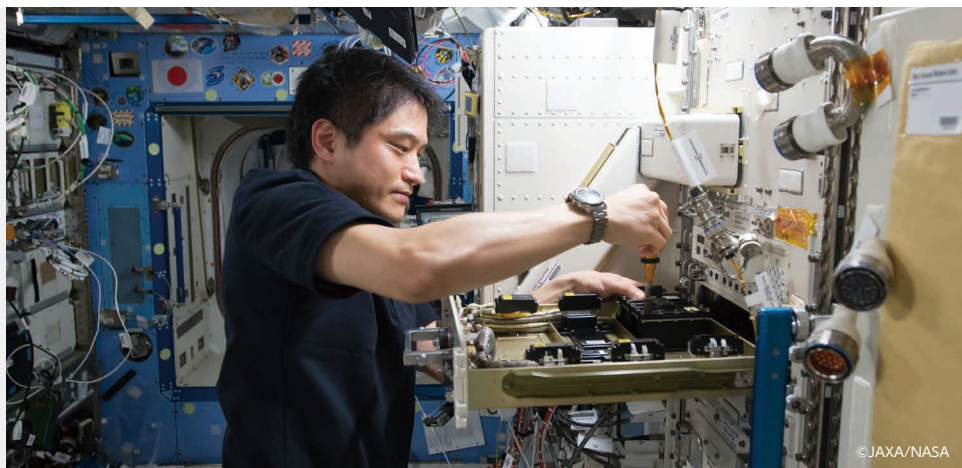
ペプチドとはいくつものアミノ酸が結合したものをいいます。ペプチドリームが創薬のために作製している特殊ペプチドは環状になっており、医薬品候補化合物の選定や作用メカニズムの理解などに用いられます。

「私たちが必要としている高品質のタンパク質結晶をつくる上で、JAXAが行っているタンパク質結晶生成実験は、コストパフォーマンスの面でとても優れていると思いました。JAXAでも当社の計画について関心をもっていただき、すぐに契約を結ぶことができました」

こう語るのは、同社の取締役研究開発部長・舛屋圭一氏です。

ペプチドリームが今回の実験で用いたペプチドが優れた性質を持っていることはすでに示されていましたが、それを理論的に明らかにするためには、構造を特定する必要があったのです。

「JAXAにしていただいた地上での実験

ーム"が

ISS「きぼう」日本実験棟におけるタンパク質結晶生成実験。写真は2016年7月〜10月までISSでの長期滞在ミッションを行った、大西宇宙飛行士の作業の様子。ペプチドリームの実験は2017年2月〜3月に行われた。

（写真①②）2017年7月に川崎市に本社・研究所を移転拡充したペプチドリーム。写真は新社屋内に作られたラボ。最新機器のそろった広々とした施設だ。

で結晶を生成し、X線による解析にも成功しました。そしてそれと同じ条件でISSでの実験を行い、さらに高品質の結晶を生成、詳細な構造データを得ることができたのです。宇宙空間では重力の影響をほとんど受けないため、地上に比べてタンパク質の結晶はより均一に並んでくれます。創薬事業では、こうした高品質のタンパク質結晶構造を用いることによって薬の開発スピードを飛躍的に高めることができます」

一連の実験を通じて、JAXAが共同研究としてコミュニケーションをとりながら、なおかつ顧客本位の姿勢で実験を行うところにメリットを感じたと舛屋氏は語ります。

「実験精度の高さはもちろんですが、ロケットを打ち上げ、ISSで実験を行い、その結果を回収して戻ってくる。こうしたことはJAXAにしかできません。宇宙という極めて特殊な環境に実験室を作り、そこでタンパク質の結晶をつくり、地上に戻してくれるのですから、JAXAに対しては尊敬と感謝以外ありません」

新たな協力関係でさらなる成果を

それまで宇宙と関わることをほとんど予想していなかったという同社のスタッフの間でも、JAXAとの契約をきっかけに、宇宙を利用した研究へのモチベーションが高まっているといいます。実験結果を踏まえ、6月にはJAXAとペプチドリームとの間で、より協力関係を発展させた3年間の戦略的なパートナーシップ契約も締結されました。

「今、若い研究者は、この機会にJAXAとの研究をさらに進めたいという思いを強くしていると感じます。JAXAに実験をしてもらうために、いろいろなタンパク質が必要です。7月に本社と研究所を移転拡充しましたが、秋にはJAXAにお渡しするタンパク質の全てを内製する態勢が整うと思います」

今回の契約により、ペプチドリームがJAXAに委託する試料数は前回の6倍と大幅に増えることになります。今後、ISSでの実験を通じて、新たなタンパク質の結晶化と結合様式の解明がさらに進むことで、ペプチドリームによる創薬研究開発がいっそう発展することが期待されます。

ペプチドリーム株式会社

東京大学先端科学技術研究センターの菅裕明教授（当時）の開発した特殊ペプチドを事業化するため、窪田規一（現 代表取締役社長）と菅教授を中心として2006年に創業。特殊ペプチドを作り出す独自の技術を基盤とした、創薬研究開発を行っている。2017年7月、川崎市に本社・研究所を移転。

たにしま のぶたか
谷嶋 信貴
研究開発部門
第二研究ユニット
研究開発員

ごとう まさゆき
後藤 雅享
有人宇宙技術部門
有人宇宙技術センター
主任研究開発員

みたに しんじ
巳谷 真司
研究開発部門
第一研究ユニット
主任研究開発員

超小型三軸姿勢制御モジュール 世界最小への

31㎜角の立方体に詰め込まれた

姿勢制御の機能を一つに、小さく

超小型三軸姿勢制御モジュール（以下、三軸モジュール）の機能と特徴を教えてください。

巳谷　人工衛星は、ジャイロやホイール、姿勢制御用計算機などの装置によって、宇宙空間で姿勢を制御しています。これまでは別々だったこれらの装置を一つのパッケージに詰め込んだのが、この三軸モジュールです。研究開発部門の競争的萌芽研究として、2014年から開発をスタートしました。

特徴は、一辺が31㎜、重さ50gという非常に小さい立方体に納めたことです。中の空間をホイールが占有しているので、三面のフレーム自身を電気基板にして荷重を支える構造にしました。さらに、電気基板の部品配置やケーブル配線の立体配置も全て計算しつくし、かつ組み立て手順や分解も成立する構造とするなど、さまざまな工夫をいくつも施しています。

茂渡　小型化のキーとなる電子回路と構造設計を、電子部品の選定から組み立て方法にいたるまで自分たちで検討しました。最終的にできたデザインは、電子部品や機械部品が立方体内部で0.05mm単位で配置されています。

（右）100㎜角の超小型三軸姿勢制御モジュール。頂点で自立している。（左下）Int-Ballに使われた31㎜角の超小型三軸姿勢制御モジュール。100㎜角だったモジュールをここまで一気にサイズダウンした。

どのようなきっかけでInt-Ballへ組み込むことになったのでしょうか。

後藤　プロジェクト立ち上げのための技術検討を行っている時に、空間に浮かべて制御するのだから人工衛星の制御が使えるのではないかと考え、巳谷さんたちに声をかけたのがきっかけですね。そこで100mm角の三軸モジュールを見せてもらいました。

巳谷　100mm角の三軸モジュールは、姿勢制御機能の一体化研究を始めて二番目に作ったモジュールで、内蔵したジャイロやリアクションホイール、計算機の働きで、一つの頂点だけを下にして自立できるようになっています。頂点で自立倒立できる制御性能を有する三軸モジュールとしては、当時世界最小のサイズでした。100mmの次は50mmを目指していたのですが、後藤さんからもっと小さくして欲しいという要望をもらい、さまざまな新たな工夫を凝らした結果、31mm角まで小さくできました。31mm角の立方体にこの機能を詰め込んだモジュールは、世界的に見ても他にない技術といえるでしょう。

後藤　できたものを見せてもらった時には、ここまでできるのかとびっくりしました。そのおかげで、Int-Ballの完成に見通しがつきました。

Int-Ball内部の部品配置も三軸モジュール同様苦労されたのですか？

後藤　普通の作り方では質量がオーバーしてしまうので、多くの部品を一体化させ3Dプリンターで作っています。

谷嶋　Int-Ballの部品配置は、重心と球中心とのずれが3mm以下になるよう考えて設計されていますが、実際はケーブルの取り回しなどによって差異がでます。組み上がったInt-Ballの重心を、独自に考案した装置で正確に測定しています。結果、重心ずれは3mm以内であることが無事に確認できました。

茂渡　三軸モジュールをInt-Ballシステムに組み込む際に、通信・電源ラインのインターフェース回りで想定外の挙動を示すなどの苦労もありました。その都度、経験豊富な内外の方々にアドバイスを頂きつつ、解決していきました。

人工衛星とドローン、制御の違いは

Int-Ballは微小重力下で動作しますが、姿勢制御は人工衛星と違うのでしょうか。

巳谷　地球を周回している地球観測衛星は、重力に捕らわれているという点で力学条件が違いますが、姿勢制御の仕組みは

挑戦
最先端の技術。

ISS「きぼう」日本実験棟内部に浮かぶドローン「Int-Ball」。その姿勢制御は、内蔵された超小型三軸姿勢制御モジュールが行っています。モジュールを開発した研究開発部門の巳谷真司主任研究開発員と茂渡修平研究開発員、谷嶋信貴研究開発員。Int-Ballを開発した有人宇宙技術センターの後藤雅享主任研究開発員に、開発の目的や機能などを聞きました。

取材・文:水野 寛之

ほぼ同じです。姿勢制御とは、姿勢情報をセンサから取得し、正しい姿勢にアクチュエータを使って修正することです。人工衛星では、アクチュエータとしてリアクションホイールの回転やガスジェットスラスタの噴射が使われますが、船内で飛行するInt-Ballの場合、リアクションホイールと小型の軸流ファンを使っています。最も異なる点はセンサです。人工衛星のように姿勢を知るために太陽や地球・星を見ることはできないので、「きぼう」内部にマーカーを配置して、それを東京大学が開発した自己位置認識用のカメラで撮影して姿勢を認識します。さらに、慣性センサの情報をミックスすることで、精度の高い姿勢の情報を得ることができます。小型衛星の姿勢制御を参考にした部分はありますが、Int-Ball用に飛行制御プログラムを一から開発しました。

後藤　三軸モジュールに追加した基板で、12個の軸流ファンも制御できるようになっています。カメラ画像のデータを三軸モジュールに渡し、次にホイールを回した方がいいのか、ファンを回した方がいいのかを判断するといった連動制御が、Int-Ballにおける姿勢制御の肝であり、一番時間をかけたところですね。

制御のテストはどうやって行ったのですか?

谷嶋　Int-Ballに求められる条件に配慮した結果、空気を使って少し浮かせることで摩擦抵抗をなくす検証方式を選びました。ただ、従来装置よりも軽量化が必要であったため、装置も自分たちのオリジナルです。装置が実現できた時はうれしかったですね。

巳谷　地上では二次元平面内のテストに留まります。テストの際、重力に対してファンの推力が弱いので、少しでも空気浮上装置が重力方向に対して傾いていると重力の影響を受けて動きが阻害されてしまいます。チューニングに時間がかかったので、テストは大変でした。

人工衛星以外にも応用できる

Int-Ballと三軸モジュール、今後の展開を教えてください。

後藤　将来に向けた有人宇宙の技術開発には、ロボティクス技術の活用による自動化・自律化という大きな流れがあります。Int-Ballもクルーが行っていた撮影作業の自動化が目的で、次号機は電源ON/OFFや充電も含めて完全自動化を目指しています。今後はInt-Ballの機能拡張に加え、実験装置の自動化促進や、クルーが行っている汎用作業のロボットによる自動化も進める計画です。

巳谷　今後、この三軸モジュールの技術をいろいろなところに普及させていきたいと思っています。Int-Ballや人工衛星の制御以外にも応用先はあるのではないかと思っています。たとえば、地上のドローンの姿勢安定装置や、小惑星「イトカワ」のような微小重力天体はもちろん、火星のような重力天体の表面上を転がって移動する探査ロボットにも利用できるでしょう。また、今は単独で動作していますが、大量の小型ロボット群として用いてマルチエージェントシステムを形成するような研究にも応用できると考えています。マルチエージェントシステムとは、10個とか、100個1,000個などのモジュールがあった時に、それぞれが双方向に通信して相互作用を起こし、個々のモジュールでは困難なタスクをモジュール全体で達成するというようなシステムのことです。

これまでの成果を広く知ってもらい、さまざまな応用先や量産のためのパートナーを探していきたいと思っています。

Int-Ballとは

Int-Ball(JEM自律移動型船内カメラ)は、地上からの遠隔操縦により、国際宇宙ステーション(ISS)の実験用モジュール「きぼう」内部の空間を自在に浮遊し撮影を行う、船内ドローンです。これまで宇宙飛行士の作業時間の10%程度を占めていた撮影作業をInt-Ballが行うことで、宇宙飛行士を撮影作業から解放することが目的の一つです。

姿勢制御は内蔵の超小型三軸姿勢制御モジュールによって自律的に行い、移動は小型ファンによって行います。前面にある二つの目のようにみえるのはLEDライトで、撮影時は青、異常がある場合には赤く光ります。ライトの間、鼻にあたる部分に撮影用のカメラが搭載されています。外装や内部の構造部品は、ほぼ全て3Dプリンターで作成しています。開発開始からわずか9カ月で完成、2017年6月にISSへ運び込まれ、初期運用を開始しました。

©JAXA/NASA

JAXA TOPICS
JAXAトピックス

TOPICS
「エコデモンストレーター2018」で晴天乱気流検知システムを飛行実証

©JAXA

左から

町田 茂（まちだ しげる）
JAXA航空技術部門航空技術実証開発ユニット
ウエザー・セイフティ・アビオニクス技術研究グループ

チャーリー・スヴォボーダ
ボーイング リサーチ & テクノロジー
リサーチ & テクノロジー プロジェクト ディレクター

ダグラス・クリステンセン
ボーイング コマーシャル エアプレーンズ
2018 エコデモンストレーター リーダー
エンバイロンメンタル パフォーマンス

JAXAは搭載型晴天乱気流検知システムをボーイング社の「エコデモンストレーター2018」において、大型機に搭載して飛行試験を行うこととなりました。

大型航空機事故の原因のうち、5割以上が乱気流によるものと考えられています。中でも晴天乱気流は、雲を伴わないため気象レーダーでは検知できず、遭遇すると急な機体動揺などを引き起こし、乗客や乗員が負傷するような事故につながってしまいます。

JAXAの開発した晴天乱気流検知システムは、ライダー（レーザ光を使い前方の気流状態を計測する装置）によって晴天乱気流を検知します。機体前方に放射したレーザ光が、大気中に浮遊するエアロゾル粒子（塵や氷などの微小な粒子）に当たるとレーザ光は散乱します。その散乱光を受信して光の波長変化を解析すれば、エアロゾル粒子の移動速度を知ることができます。急激な速度変化があれば、そこに乱気流があることが分かるのです。

JAXAは、「乱気流事故防止機体技術の実証（SafeAvio〈セーフアビオ〉）」プロジェクトにおいて晴天乱気流検知技術の研究開発と実証を進め、航空機に搭載が可能な重量（83.7kg）のシステムで、平均して航空機の前方17.5km先の乱気流検知を飛行実証しました。巡航速度であれば17.5kmを飛行するために、およそ70秒かかります。70秒あれば、乗客にシートベルトの着用を促すなど、事故を防止するための安全対策をとることができるようになり、航空機の事故を大きく減らすことができます。

JAXAとボーイング社は、2010年からJAXAライダーを航空機に搭載する検討を共同研究として開始しており、今回、2018年にボーイング社が実施する「エコデモンストレーター2018」において、晴天乱気流検知システムの飛行試験実施が決まりました。

ボーイング社のエコデモンストレーターは、航空機の安全飛行と環境性能の向上を実現するため、実際の機体にさまざまな技術を搭載して飛行試験を行うプログラムです。最初のエコデモンストレーター・プログラムは、2012年にアメリカン航空のボーイング737-800型機を利用して実施されました。以来、これまでに60種類以上の技術を試験してきました。エコデモンストレーター2018では、FedEx社のボーイング777型貨物機に晴天乱気流検知システムを含む34種類の新しい技術を搭載し、2018年3月からアメリカのシアトルなどで飛行試験を行い、さまざまな技術の性能評価を行う予定です。ボーイング社は、晴天乱気流検知システムに対して安全性改善の可能性以外にも、燃料効率向上も期待できるとしています。

©JAXA

JAXAが開発した晴天乱気流検知システムのドップラーライダー

ボーイング社のコメント

ダグラス・クリステンセン氏
これまでJAXAからは非常に良いサポートを受けてきました。エコデモンストレーターを成功させるために、これまでと変わらないサポートを期待しています。

チャーリー・スヴォボーダ氏
今回の試験以外の領域でも、ボーイング社とJAXAが同じ関心や方向性を持つ分野があれば、お互いに支援する体制をさらに強化していきたいと考えています。

取材・文:水野 寛之

国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency
Explore to Realize

広報部 〒101-8008 東京都千代田区神田駿河台4-6
御茶ノ水ソラシティ
TEL:03-5289-3650 FAX:03-3258-5051

JAXAウェブサイト http://www.jaxa.jp/
メールサービス http://fanfun.jaxa.jp/media/mail/